

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE**

# **NÁVRH SENZORICKÉ SOUSTAVY A ŘÍZENÍ LABORATORNÍ TEPLITNÍ KOMORY**

SENSOR AND CONTROL SYSTEM DESIGN FOR TEMPERATURE CHAMBER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ALENA KALACHOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. PAVEL HOUŠKA, Ph.D.**

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Alena Kalachová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh senzorické soustavy a řízení laboratorní teplotní komory**

v anglickém jazyce:

### **Sensor and control system design for temperature chamber**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh senzoriky a řízení miniaturní laboratorní teplotní komory s pracovní rozsahem  $-20$  až  $100^{\circ}\text{C}$  pro testování funkčnosti elektroniky. Požadovaná přesnost řízení teploty v ustáleném stavu je  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  v pracovní části komory. Pro zajištění požadované přesnosti je nutné vhodně navrhnout rozložení a počet snímačů teploty. Testování vyžaduje také měření vlhkosti vzduchu v komoře, za tímto účelem musí být senzorická soustava doplněna o snímač vlhkosti. Ohřev i chlazení komory bude realizováno pomocí Peltierových článků.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se principem a činností teplotních komor a požadavky kladenými na komory určené pro testování elektronických zařízení;
2. Popište princip činnosti Peltierových článků a možnosti jejich řízení;
3. Navrhněte senzorickou soustavu pro řízení teploty v teplotní komoře, zohledněte kontrolu rovnoměrnosti rozložení teploty a vlhkosti v komoře.
4. Navrhněte řízení teploty v teplotní komoře.

Seznam odborné literatury:

- [1] Ďaďo S., Kreidl M.: Senzory a měřicí obvody, Skriptum ČVUT, 1999
- [2] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors, 2004, Springer-Verlag, ISBN 0-378-00750-4
- [3] Noskievič, P.: Modelování a identifikace systémů, Montanex a.s., Ostrava 1999, ISBN 80-7225-030-2
- [4] National Instruments: LabVIEW Control Design User Manual[online], 2010, 371057, dostupné z URL:<<http://www.ni.com>>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 24.11.2011



Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem senzoriky a řízení teplotní komory s pracovním rozsahem -20 až 100°C pro testování funkčnosti elektroniky s požadovanou přesností  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Jako akční člen pro ohřev i chlazení komory byl zvolen Peltierův článek. Dle požadavků byly navrženy vhodné snímače teploty a snímače vlhkosti.

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis describes the design of sensors and control temperature chamber with a working range of -20 to 100 ° C for testing the operation of electronics with the required accuracy of  $\pm 2^\circ\text{C}$ . As an actuator for heating and cooling chamber was selected Peltier. Suitable temperature and humidity sensors were designed according to requirements.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Teplotní komora, Peltierův článek, snímač teploty, snímač vlhkosti,

## **KEYWORDS**

Temperature chamber, Peltier, temperature sensor, humidity sensor,

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2012

.....

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KALACHOVÁ, A. *Návrh senzorické soustavy a řízení laboratorní teplotní komory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Houška, Ph.D..

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu Ing. Pavlovi Houškovi, Ph.D za cenné rady, pomoc, připomínky a celkové vedení bakalářské práce.

# OBSAH

ZADÁNÍ  
ABSTRAKT  
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE  
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ  
PODĚKOVÁNÍ  
OBSAH  
SEZNAM OBRÁZKŮ  
SEZNAM TABULEK

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. STANOVENÍ POŽADAVKŮ .....</b>	<b>11</b>
2.1. Funkce teplotní komory .....	11
2.2. Model teplotní komory .....	11
<b>3. PELTIERŮV ČLÁNEK.....</b>	<b>13</b>
3.1. Termoelektrické jevy.....	13
3.2. Vlastnosti Peltierova článku .....	14
3.3. Matematický model článku .....	15
3.4. Použitý typ článku .....	16
<b>4. SNÍMAČE.....</b>	<b>18</b>
4.1. Co je potřeba měřit .....	18
4.2. Snímače pro řízení Peltierových článků .....	18
4.2.1. Odporový snímač teploty PT1000 - S101503PF12.....	18
4.2.2. Odporový snímač teploty PT100 – M 1020 .....	20
4.2.3. Zvolený typ snímače pro teplý/chladný konec Peltierových článků .....	21
4.3. Snímač pro měření teploty v pracovní části komory.....	21
4.3.1. Digitální teplotní snímač TMP123 .....	21
4.3.2. ADT7320, ADT7420 .....	23
4.3.3. Senzor DS18B20 .....	24
4.3.4. Použitý snímač teploty .....	25
4.4. Snímače pro měření vlhkosti v pracovní části komory.....	25
4.4.1. Digitální snímač vlhkosti HIH6130/6131 .....	25
4.4.2. Digitální snímač vlhkosti SHT15 .....	26
4.4.3. Snímač vlhkosti T9600 .....	27
4.4.4. Použitý snímač vlhkosti .....	27
<b>5. CHLADIČE .....</b>	<b>28</b>
5.1. Gelid Solution - Tranquillo rev.2 .....	28
5.2. Cooler Master - Hyper 212 Plus .....	29
5.3. Použitý chladič .....	30
<b>6. VENTILÁTORY .....</b>	<b>31</b>
<b>7. NI RIO-9605 .....</b>	<b>32</b>
<b>8. ZÁVĚR .....</b>	<b>33</b>

SEZNAM LITERATURY



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Model komory v programu Autodesk Inventor .....	12
Obr. 2 Návrh teplotní komory.....	12
Obr. 3 Princip Seebeckova jevu .....	13
Obr. 4 Princip Peltierova jevu .....	14
Obr. 5 Ukázka zapojení Peltierova článku.....	14
Obr. 6 Směr šíření tepla při průchodu proudu u Peltierova článku .....	15
Obr. 7 Peltierovy články firmy Supercool .....	16
Obr. 8 Základní rozměry Peltierova článku .....	17
Obr. 11 Schématické znázornění odporového snímače.....	18
Obr. 9 Tolerance standardních Pt měřicích odporů dle IEC .....	19
Obr. 10 Závislost odporu (resp. $R/R_0$ ) senzoru na teplotě – modrá křivka, červená – zvýraznění nelinearity.	20
Obr. 12 Snímač PT100 – M 1020.....	20
Obr. 13 Snímač teploty TMP123 .....	21
Obr. 14 Blokové schéma snímače TMP123.....	22
Obr. 15 Snímač teploty ADT7320.....	23
Obr. 16 Blokové schéma snímače ADT7320/7420.....	24
Obr. 17 Blokové schéma snímače DS18B20.....	25
Obr. 18 Snímač HIH6130/6131 .....	26
Obr. 19 Snímač vlhkosti/teploty SHT15 .....	26
Obr. 20 Snímač vlhkosti T9600 .....	27
Obr. 21 Chladič Tranquillo rev.2 .....	28
Obr. 22 Chladič Hyper 212 Plus .....	29
Obr. 23 Ventilátory Hi-Rel.....	31
Obr. 24 Blokové schéma Rio-9605.....	32

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Požadované parametry .....	11
Tab. 2 Parametry použitého Peltierova článku.....	17
Tab. 3 Základní parametry odporového snímače S101503PF12[7] .....	19
Tab. 4 Základní parametry snímače PT100 – M1020.....	20
Tab. 5 Základní parametry snímače TMP123.....	22
Tab. 6 Základní parametry snímače ADT7320/ADT7420 .....	23
Tab. 7 Teplotní rozlišení snímače DS18B20 .....	24
Tab. 8 Přehled základních parametrů snímače DS18B20 .....	24
Tab. 9 Přehled základních parametrů snímače HIH6130/6131 .....	26
Tab. 10 Základní parametry snímače SHT15.....	27
Tab. 11 Přehled základních parametrů snímače T9600 .....	27
Tab. 12 Parametry chladiče Tranquillo rev.2 .....	29
Tab. 13 Parametry chladiče Hyper 212 Plus .....	30

## 1. ÚVOD

Jedna z nejdůležitějších termodynamických vlastností je teplota. Existuje jen velmi málo vlastností látek, které by nebyly teplotně závislé. Pro stanovení teploty se používají teplotní závislosti jiných fyzikálních veličin, které lze matematicky vyjádřit teplotní stupnicí. Historie teploměru začíná vynálezem italského fyzika, astronoma, matematika a filozofa Galilea Galilei roku 1592.

Znalost teploty je nutná ve všech oblastech lidské činnosti. Základem bezpečnosti, spolehlivosti v energetice, dopravě a průmyslové produkci elektrospotřebičů, výpočetní a telekomunikační techniky, je technická diagnostika. Přičemž měření teploty patří mezi základní diagnostické veličiny [1].

Při vývoji zařízení od elektronických po mechanické je potřeba testovat jejich funkci za různých provozních podmínek. Jedním z nejdůležitějších testů je test teplotní odolnosti. Náhlé změny teplot dokáží výrazně zkrátit životnost produktů nebo snížit jeho kvalitu. K tomuto účelu jsou používány testovací teplotní komory. Moderní teplotní komory disponují velkým teplotním rozsahem, a to od  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do několika stovek  $^{\circ}\text{C}$ . Jejich cena se však pohybuje v řádu několika desítek až stovek tisíc. Pro potřeby laboratoří ústavu automatizace a informatiky. Proto je cílem této práce prověřit možnost konstrukce teplotní testovací komory pro potřeby laboratoří ústavu automatizace a informatiky s co nejmenšími náklady. Teplotní komora by měla mít pracovní rozsah  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $100^{\circ}\text{C}$  a přesnost měření  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

V první části práce jsou popsány požadavky pro návrh teplotní komory. Další část je zaměřena na teoretické podklady, především v oblasti termoelektrického jevu a technologií Peltierova článku. Nedílnou součástí pro návrh komory je i výběr vhodných senzorů, proto jsou v další části popsány typy teplotních senzorů vhodných pro teplotní komory. Další části práce se zabývají výběrem vhodného chladiče a popisem hlavního řídicího prvku.

## 2. STANOVENÍ POŽADAVKŮ

Ke stanovení přesných požadavků je třeba seznámit se s činností teplotních komor.

### 2.1. Funkce teplotní komory

Teplotní komora je klimatotechnologické zkušební zařízení využívané především pro testování vývojových prototypů a vzorků výrobků. Teplotní komora musí zajišťovat stabilní teplotu a kontrolu vlhkosti. Zkušební prostor komory je oddělen přepážkou a obsahuje pouze snímače. V místě za přepážkou je zaveden nucený oběh vzduchu a jsou zde umístěny veškeré akční členy. Mimo komoru se pak nachází řídicí systém.

V této práci se budu zabývat pouze návrhem na možnou realizaci komory. Je však stanoveno, že bude využívána v laboratořích našeho ústavu automatizace a informatiky. Komora bude využívána při pokojové teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 45 až 65 %.

Tab. 1 Požadované parametry

<b>Nejnižší teplota (<math>T_{\min}</math>)</b>	-20 °C
<b>Nejvyšší teplota (<math>T_{\max}</math>)</b>	100 °C
<b>Přesnost</b>	$\pm 2^\circ\text{C}$

### 2.2. Model teplotní komory

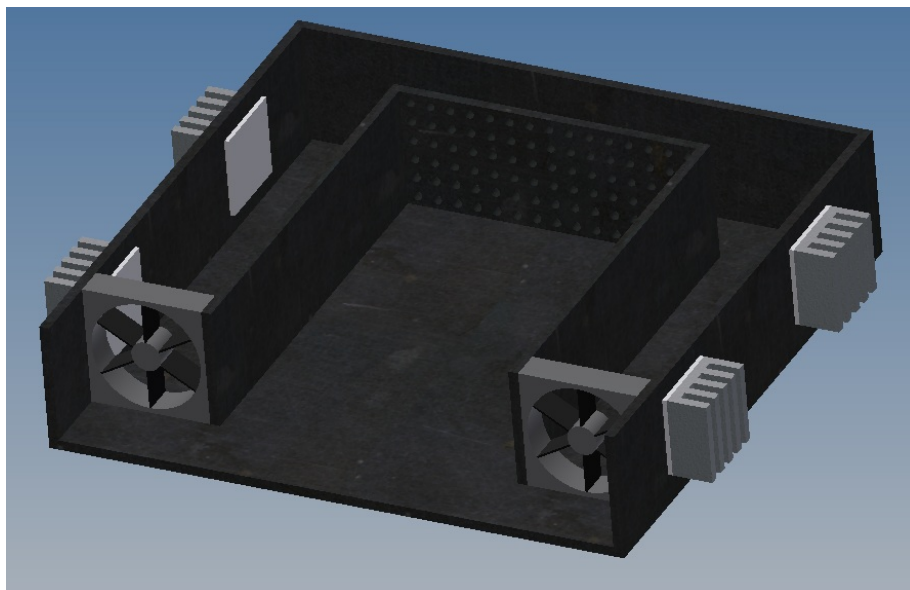
Při navrhování teplotní komory se musí brát ohled na požadavky pro přesnost, teplotu a pracovní prostředí. Zároveň je nutné brát ohled na cenu, jelikož je ve snaze, aby byla co možná nejnižší. Testovaný objekt může být zdrojem tepla a proto je ve snaze zajistit udržení minimální teploty. Tento tepelný výkon bude značen  $P_k$ . Dostatečný výkon pro většinu testovaných objektů je stanoven na 5W. Dále je ještě nutné stanovit předběžným výpočtem předpokládaný ztrátový výkon samotné komory při  $T_{\min}$ . Počítáme-li s vnější teplotou prostředí ( $T_{ok}$ ) 25°C, čemuž odpovídá teplotní spád ( $T_{sp}$ ) vztahu

$$T_{sp} = T_{ok} - T_{\min} = 25 - (-20) = 45^\circ\text{C} \quad (1)$$

Objem komory bude kolem 5l. Jako základní izolaci budeme uvažovat 5cm (d) silnou vrstvu pěnového polystyrenu. Jeho tepelná vodivost ( $\lambda$ ) odpovídá 0,04 W·m. Pro zjednodušený výpočet budeme uvažovat za plochu tepelného přechodu vnitřní plochu krychle ( $S_k$ ) odpovídající 0,18 m, podle vztahu na výpočet tepelných ztrát.

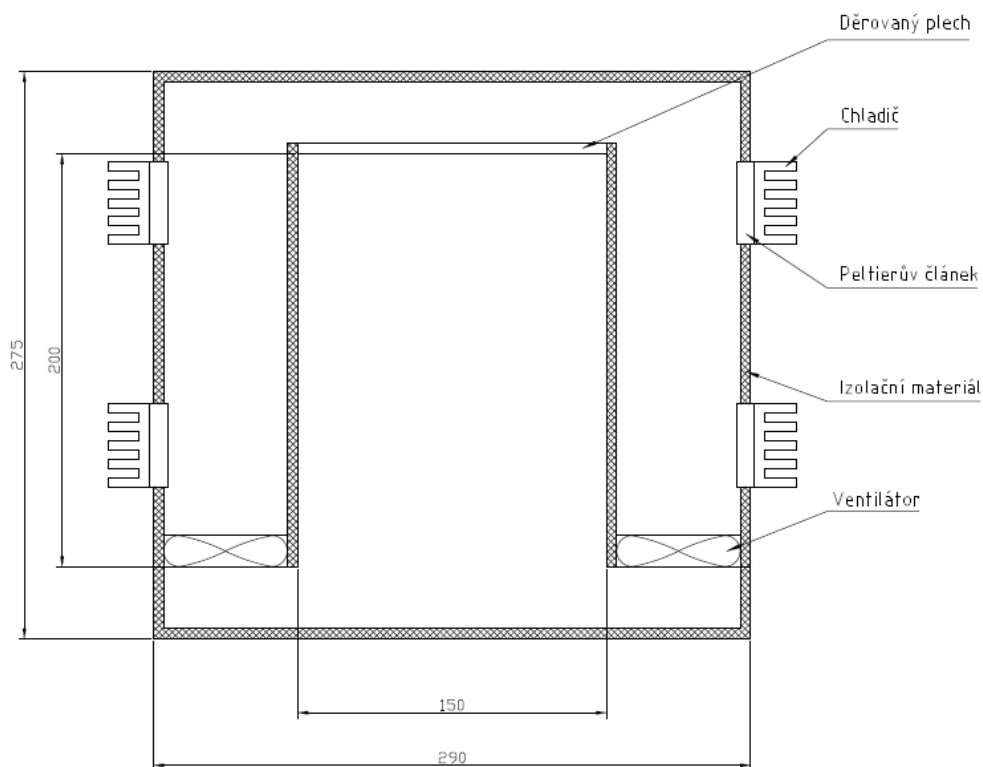
$$P_{tz} = \lambda \cdot S_k \cdot T_{sp}/d = 0,04 \cdot 0,18 \cdot 45 / 0,05 = 6,48 \text{ W} \quad (2)$$

Tím byla stanovena teoretická ztráta komory. Do výpočtu nejsou zahrnuty tepelné ztráty způsobené přístupovým otvorem, průchodkami kabelů, nedokonalostí spojů a mnohé další ztráty, proto přičteme rezervu 25%, čímž se nám  $P_{tz}$  zvýší přibližně na 8W. Součtem  $P_k$  a  $P_{tz}$  pak získáme požadovaný chladicí výkon ( $P_{ch}$ ) 13W.



Obr. 1 Model komory v programu Autodesk Inventor

Princip chlazení (vytápění) v komoře spočívá v ochlazování (ohřívání) vzduchu v komoře. Vzduch se pomocí ventilátorů vhání do přepažené části zkušební komory, kde odebírá teplo (chlad) z Peltierových článků. Peltierovy články jsou umístěny v boční stěně komory a jsou spojeny s aktivními chladiči pomocí tepelně vodivé pasty. U změny teploty je pak rozhodující napětí na Peltierových článcích, velikost chladičů a schopnost ventilátorů odvést dané teplo.



Obr. 2 Návrh teplotní komory

### 3. PELTIERŮV ČLÁNEK

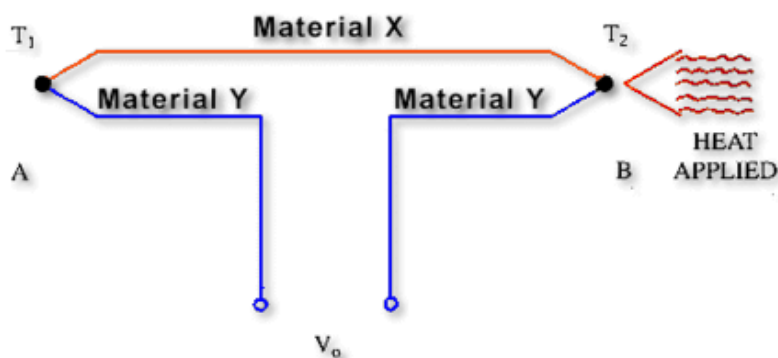
Pro potřeby našeho modelu bylo třeba zajistit akční člen schopný topení a chlazení s vysokou přesností regulace. Možnost vytápění nabízí různá topná tělesa. Tyto tělesa nabízí pouze dodávání tepla do prostoru a nikoli jeho odběr. Další možností je výměna tepla přes různé kapaliny. Tyto principy nabízí účinný odběr tepla. Jejich praktické řešení je však náročné a drahé a přesahuje rámec této práce. Volba akčních členů tedy padla na Peltierovy termočlánky – termobaterie, které fungují na základě Peltierova jevu.

#### 3.1 Termoelektrické jevy

Termoelektrické jevy pracují na principu přeměny tepelné energie na elektrickou a naopak. Termoelektrické jevy se projevují u polovodičů i kovů a jsou způsobeny povrchovými efekty na rozhraní dvou látek. Zdroje, v nichž se přeměňuje tepelná energie na elektrickou se nazývají termoelektrické články. Rozlišujeme tři základní druhy termoelektrických jevů: Seebeckův, Peltierův a Thomsonův [2].

##### Seebeckův jev

Spojíme-li dva různé vodiče z různých kovů a umístíme spoje a volné konce do míst o různých teplotách, mezi kontakty vznikne relativní Seebeckovo napětí. U neuzavřeného obvodu můžeme na koncích změřit termoelektrické napětí (viz. Obr. 3). Termoelektrické napětí je pro většinu dvojic kovů nepatrné a z dodané tepelné energie se pro přímou přeměnu využívá asi 1 až 3 %.

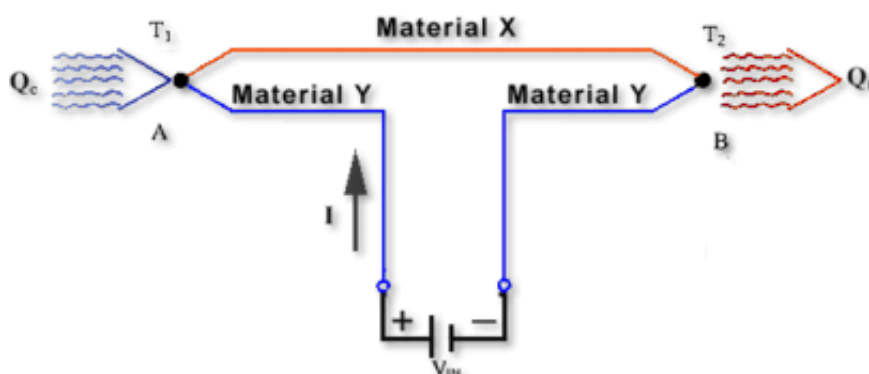


Obr. 3 Princip Seebeckova jevu

##### Peltierův jev

Protéká-li stejnosměrný elektrický proud z vnějšího zdroje Seebeckovým obvodem, vzniká teplotní rozdíl mezi oběma spoji. Zda se daný spoj otepluje nebo ochlazuje závisí na směru průtoku proudu.

Pokud proud z vnějšího zdroje teče stejným směrem, jako proud při ohřátí obvodu, pak se daný spoj ochlazuje. Prochází-li proud opačným směrem, pak se spoj ohřívá (viz. Obr. 4) [1].

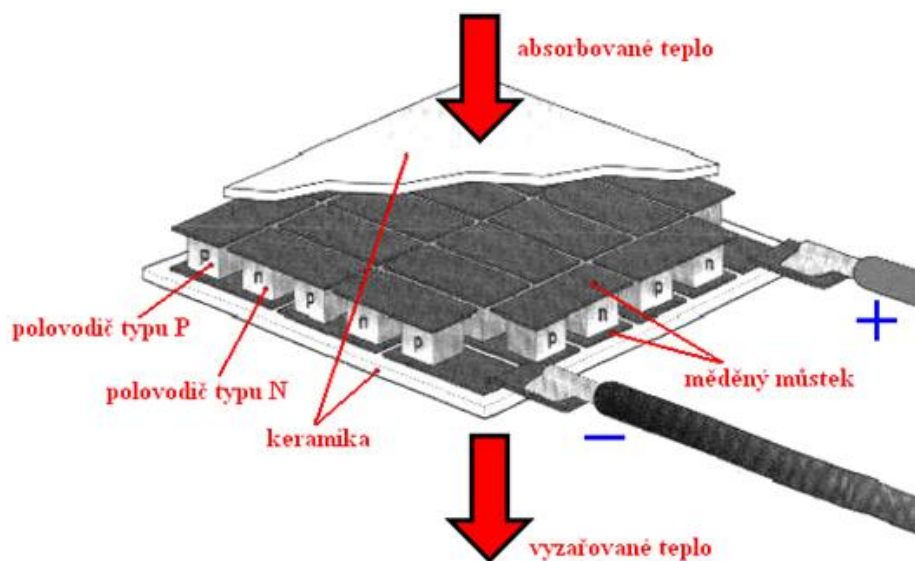


Obr. 4 Princip Peltierova jevu

### 3.2. Vlastnosti Peltierova článku

Peltierovy články představují zajímavou alternativu ke konvenčním způsobům chlazení a v současnosti nacházejí stále širší uplatnění. Jedná se především o specializované oblasti, ve kterých vynikají přednosti těchto zařízení: nízké náklady, dlouhá životnost, absence pohyblivých zařízení nebo chemických látek, malé rozměry.

Peltierův článek je tvořen polovodičovými sloupky typu P a N, které jsou na jedné straně spojeny spojovacím můstkem. Ty přivádí elektrickou energii a zároveň absorbují a vyzařují teplo. K přečerpávání tepla dochází po připojení napětí.



Obr. 5 Ukázka zapojení Peltierova článku

Pro výrobu Peltierova článku se používá polovodičový materiál vizmut-tellurid. Tento materiál má dobré termoelektrické vlastnosti, malou tepelnou vodivost a nízký

měrný elektrický odpor. Spojovací můstky jsou vyhotoveny většinou z mědi. V místě styku polovodiče se spojovacím můstkem vzniká nežádoucí přechodový odpor, který značně ovlivňuje dosažitelnou chladicí kapacitu článku [3].

#### Výhody

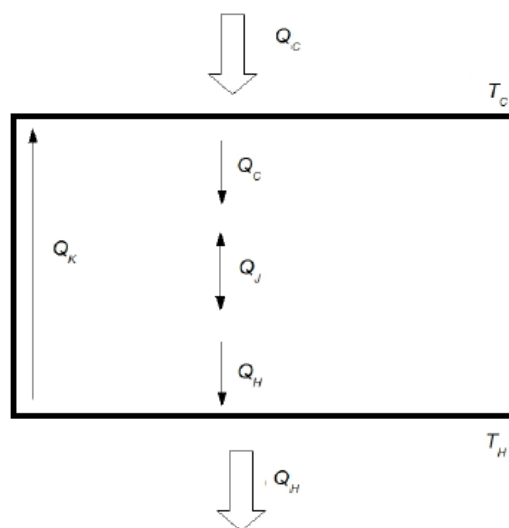
- malé rozměry
- dosažení velmi nízkých teplot (až  $-80^{\circ}\text{C}$ )
- okamžitý efekt chlazení nebo topení (změnou polarity proudu)
- snadná regulace výkonu
- tichý provoz jelikož nemá žádné pohyblivé části
- relativně dlouhá životnost

#### Nevýhody

- problémy s přehříváním
- relativně velká spotřeba
- vyšší cena v případě potřeby velkého chladicího výkonu
- nízká účinnost modulu způsobuje vysoké nároky na odvod tepla [3]

### 3.3. Matematický model článku

Model článku popisuje tepelný tok na chladné, teplé straně a parazitní tepelný tok procházející z teplé do studené strany vzniklý nezanedbatelnou tepelnou vodivostí polovodičového materiálu. V modelu je použit pouze statický model popsáný dvojicí rovnic. Vstupem je proud  $I$ , teplota teplé strany  $T_H$  a teplota studené strany  $T_C$ . Výstupem je tepelný tok vystupující z teplé strany  $Q_H$  a tepelný tok absorbovaný na studené straně  $Q_C$ .



Obr. 6 Směr šíření tepla při průchodu proudu u Peltierova článku

Na studené straně je absorbováno teplo  $Q_C$ . Chladicí výkon je dán rovnicí

$$Q_C = \alpha \cdot I \cdot T_C - \frac{1}{2} R \cdot I^2 - k \cdot \Delta T \quad (3)$$

Absorbované teplo na studené straně je transportováno a spolu s Joulovým teplem vzniklým průchodem proudu je vyzařováno na teplé straně  $Q_H$ . Tepelný výkon je dán rovnicí

$$Q_h = \alpha \cdot I \cdot T_H + \frac{1}{2} R \cdot I^2 - k \cdot \Delta T \quad (4)$$

Kde  $\Delta T = T_H - T_C$  - rozdíl teplot na teplé a studené straně

Výkon Peltierova článku je závislý na materiálu a je úměrný procházejícímu proudu  $I$ , teplotě a Seebeckovu koeficientu  $\alpha$  [V.K<sup>-1</sup>].

$$R = \frac{2 \cdot Q_{max}}{n \cdot I_{max}^2} \quad [\Omega] \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{R \cdot I_{max}}{T_c} \quad [\text{V.K}^{-1}] \quad (6)$$

Procházející proud generuje Joulovo teplo  $Q_J$ , které snižuje chladicí výkon článku. Teplotní gradient článku způsobuje přenos tepla z teplé na studenou stranu. Tepelná vodivost článku je určena parametrem  $k$  [W.K<sup>-1</sup>].

$$k = \frac{s}{l} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) \quad [\text{W/K}] \quad (7)$$

kde:

$s$  ... průřez polovodičových sloupků [m<sup>2</sup>]

$l$  .... délka sloupků [m]

$\lambda_1, \lambda_2$  ... tepelná vodivost obou polov. Sloupků [W/m.K]

Parametry  $\alpha$ ,  $R$ ,  $k$  jsou mírně teplotně závislé. Seebeckův koeficient je závislý na rozdílu teplot a je modelován lineární závislostí. Elektrický odpor má charakter ohmického odporu kovového vodiče [3].

### 3.4. Použitý typ článku [4]

V aplikaci jsou použity Peltierovy články s vysokým výkonem Supercool - Power modules series PC-200-14-06.



Obr. 7 Peltierovy články firmy Supercool



Tab. 2 Parametry použitého Peltierova článku

I max (A)	U max (V)	Q max (W)	$\Delta T$ max (°C)	RAC (ohm)	(mm)				L	S mm <sup>2</sup>
					Ac	Ah	B	H		
15,4	25,0	236,5	68	1,28	40	44	40	3,3	200	0,75

Význam jednotlivých parametrů:

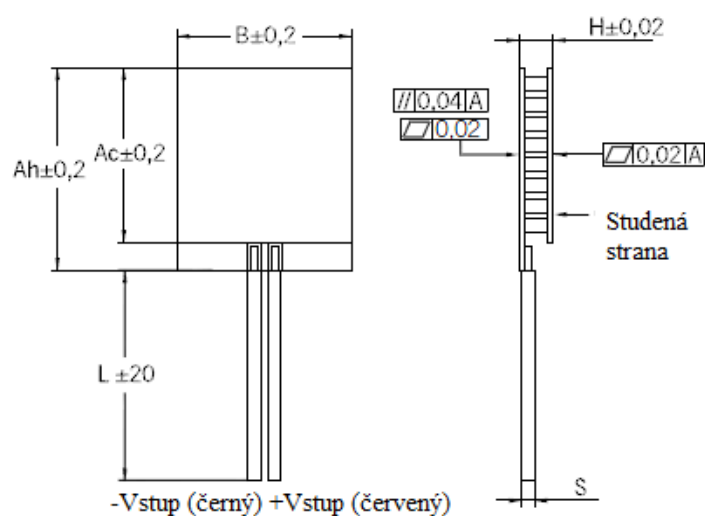
$I_{max}$ .... maximální proud protékající článkem

$U_{max}$ .... maximální napájecí napětí článku

$\Delta T_{max}$ ... maximální teplotní rozdíl, jaký můžeme na článku dosáhnout při proudu  $I_{max}$

$Q_{max}$ ... . maximální chladicí výkon článku při proudu  $I_{max}$

Tento typ Peltierů je používán v aplikacích, kde je nutno absorbovat velké množství tepla z omezeného prostoru, kde by již nezbyl prostor pro usazení většího počtu standardních Peltierů. Tyto Peltierovy články jsou jedny z mála, které nabízejí vysoký výkon.



Obr. 8 Základní rozměry Peltierova článku

## 4. SNÍMAČE

Jedná se o funkční prvky tvořící vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Měřená teplota se neustále mění s časem. Pro určení teploty se používá závislost vhodně zvolených fyzikálních veličin na teplotě.

Pro návrh senzorky laboratorní teplotní komory s pracovním rozsahem -20 až 100°C je nutné vhodně navrhnout rozložení a počet snímačů. V této kapitole je rozebrán přehled vybraných senzorů. Na základě námi požadovaných parametrů zhodnotíme a vybereme příslušné snímače pro měření v námi navrhované teplotní komoře.

### 4.1. Co je potřeba měřit

Při návrhu senzorky teplotní komory se musí brát ohled na námi zvolené požadavky. Proto je potřeba měřit:

- teploty na studeném a teplém konci Peltierova článku
- teplotu a vlhkost uvnitř komory
- venkovní teplotu

### 4.2. Snímače pro řízení Peltierových článků

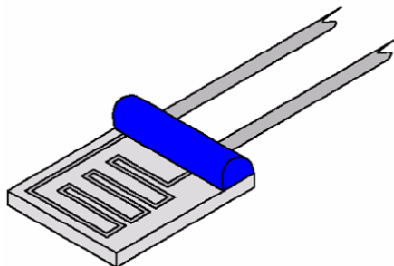
Je nutné vybrat příslušný teplotní snímač, který bude použit při vyhodnocování a sběru dat z ploch Peltierova článku. Typ senzoru teploty a jeho uložení v termoelektrickém modulu ovlivňují stabilitu regulované teploty. Výběr vhodného snímače závisí na druhu použití a také na základních parametrech jako jsou: teplotní rozsah, citlivost, požadovaná linearita a mechanické rozměry.

Snímač by měl být vybírán podle následujících požadavků:

- přesnost alespoň  $\pm 2^\circ\text{C}$  při rozsahu teplot -20 až 100 °C
- cena snímače a náklady na provoz
- rychlost odezvy měřicího přístroje
- tepelná odolnost

#### 4.2.1. Odporový snímač teploty PT1000 - S101503PF12

Model S101503PF12 od firmy Minco poskytuje výhody tenkovrstvého snímače. Ve své podstatě jde o tenký platinový vodič uložený na keramickém podkladu, potažený sklem se stříbrnými dráty. Princip je založený na změně elektrického odporu platinového vodiče v závislosti na změně teploty. Označení PT1000 pak značí jeho nominální hodnotu 1000Ω při 0°C a že je tvořen platinovým vodičem. Snímač Pt1000 je v souladu s EN 60751.



Obr. 9 Schématické znázornění odporového snímače

Platina je využívána zvláště pro svoji lineární závislost odporu na teplotě a také díky svojí velké chemické netečnosti, která dovoluje její nasazení až po teploty okolo 660°C. Díky malým rozměrům lze snímače precizně upevnit k Peltierovým článkům [5,6,7].

Tab. 3 Základní parametry odporového snímače S101503PF12[7]

<b>Měřicí rozsah</b>	-50 až +400 °C
<b>Přesnost</b>	Třída B ( $\pm 0.3$ °C při 0 °C)
<b>Přesnost opakování</b>	$< \pm 0.1$ °C
<b>Dlouhodobá stabilita</b>	$< 0.1$ °C/rok
<b>Provedení</b>	Pt1000
<b>Délka přípojovacího vodiče</b>	10 mm
<b>Rozměry d x š x v</b>	1,7 x 1,3 x 0,7mm

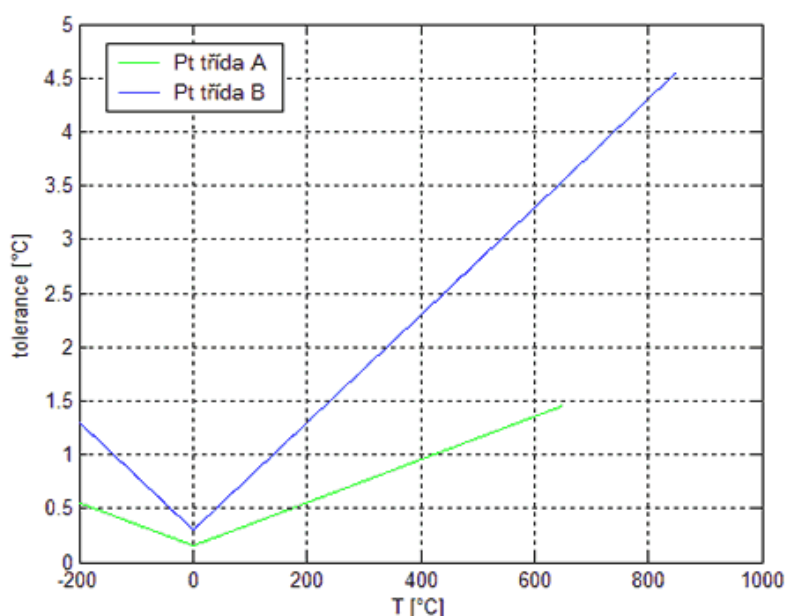
Dle IEC (International Electrotechnical Commission ) se platinové měřicí odpory ( $W_{100} = 1,385$ ) dělí do dvou tolerančních tříd:

- Třída A: Rozsah: -200 °C až 650 °C, tolerance (°C):  $\pm (0,15 + 0,002 \cdot |t|)$
- Třída B: Rozsah: -200 °C až 850 °C, tolerance (°C):  $\pm (0,3 + 0,005 \cdot |t|)$

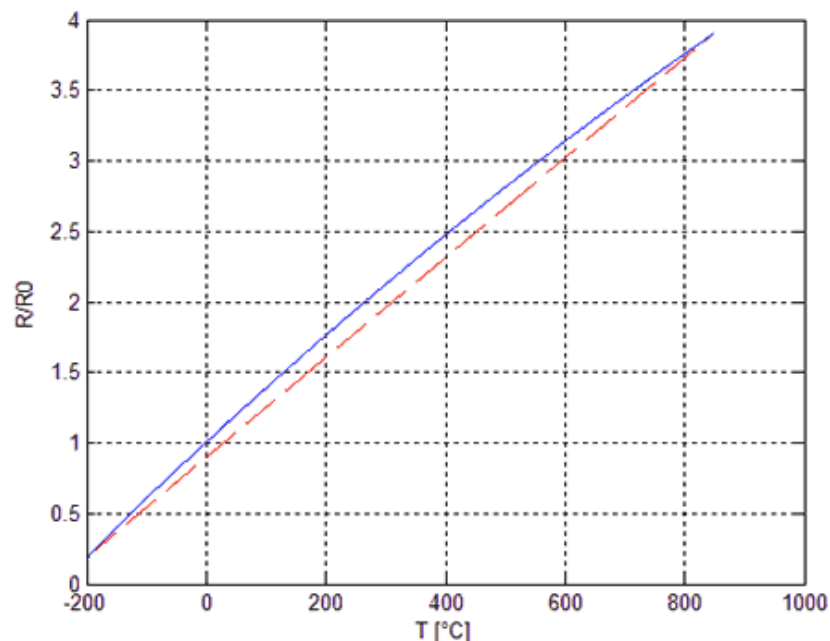
Standardní hodnota odporu Pt senzoru je 100  $\Omega$  při 0°C, kromě této hodnoty se ale vyrábějí též Pt senzory 50, 200, 500, 1000 a 2000  $\Omega$  (nejčastěji užívané Pt<sub>100</sub> a Pt<sub>1000</sub>). Pro teplotní závislost standardního měřicího odporu ( $W_{100} = 1,385$ ,  $R_0 = 100\Omega$ ) platí vztah:

$$R_{\vartheta} = R_0 [1 + A\vartheta + B\vartheta^2 + C\vartheta^3(\vartheta - 100)] \quad (8)$$

kde dle IEC je  $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ,  $B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$  a  $C = -4,27350 \cdot 10^{-12}$  pro  $\vartheta < 0$  °C, resp.  $C=0$  pro  $\vartheta > 0$  °C. Chyba linearity pro rozsah teplot od 0 °C do 100 °C činí asi  $1,45 \cdot 10^{-3} R_0$  tedy cca 0,15 °C.



Obr. 10 Tolerance standardních Pt měřicích odporů dle IEC [5]



Obr. 11 Závislost odporu (resp.  $R/R_0$ ) senzoru na teplotě – modrá křivka, červená – zvýraznění nonlinearity [5]

#### 4.2.2. Odporový snímač teploty PT100 – M 1020



Obr. 12 Snímač PT100 – M 1020

Model snímače M 1020 firmy Heraeus je určen pro aplikace vyžadující dlouhodobou stabilitu, přesnost a odolnost proti vibracím. Jedná se o platinový vodič uložený ve sklokeramické desce s niklovými dráty. Označení PT100 označuje jeho nominální hodnotu  $100\Omega$  při  $0^{\circ}\text{C}$  a použitý platinový vodič. Snímač je v souladu s EN 60751 [8].

Tab. 4 Základní parametry snímače PT100 – M1020

<b>Měřicí rozsah</b>	$70^{\circ}\text{C}$ to $+500^{\circ}\text{C}$
<b>Přesnost</b>	Třída B ( $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ při $0^{\circ}\text{C}$ )
<b>Doba odezvy</b>	12,7s
<b>Dlouhodobá stabilita</b>	$< 0.4^{\circ}\text{C}/1000$ při $500^{\circ}\text{C}$
<b>Provedení</b>	Pt100
<b>Délka připojovacího vodiče</b>	10 mm
<b>Rozměry d x š x v</b>	9,5 x 1,9 x 0.9mm

#### 4.2.3. Zvolený typ snímače pro teplý/chladný konec Peltierových článků

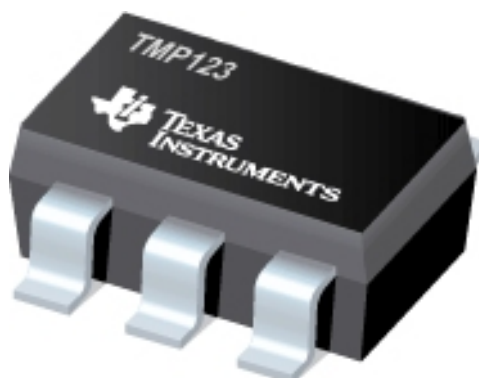
Námi zvolený typ snímače je snímač PT1000 firmy Minco. Byl doporučen dodavatelem odporových snímačů teploty, kvůli své miniaturní velikosti, výborné přesnosti a citlivosti. Navíc se již v laboratorních ústavu automatizace vyskytuje a nebudou nutné náklady na pořízení.

#### 4.3. Snímač pro měření teploty v pracovní části komory

Jednu z důležitých částí pro návrh senzoriky teplotní komory. V komoře bude umístěno několik těchto snímačů. Snímače budou měřit teplotu v pracovní části komory. Je kladen důraz na vysokou přesnost a spolehlivost. Snímač teploty by měl být vybírán podle následujících požadavků:

- přesnost alespoň  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  při rozsahu teplot  $-20$  až  $100^{\circ}\text{C}$
- pokud snímač má integrovaný AD převodník, tak by měl mít rozlišení 12 bitů
- cena snímače a náklady na provoz
- rychlost odezvy měřicího přístroje
- vlastnosti prostředí, ve kterém měříme (tepelná odolnost)

##### 4.3.1. Digitální teplotní snímač TMP123 [9]

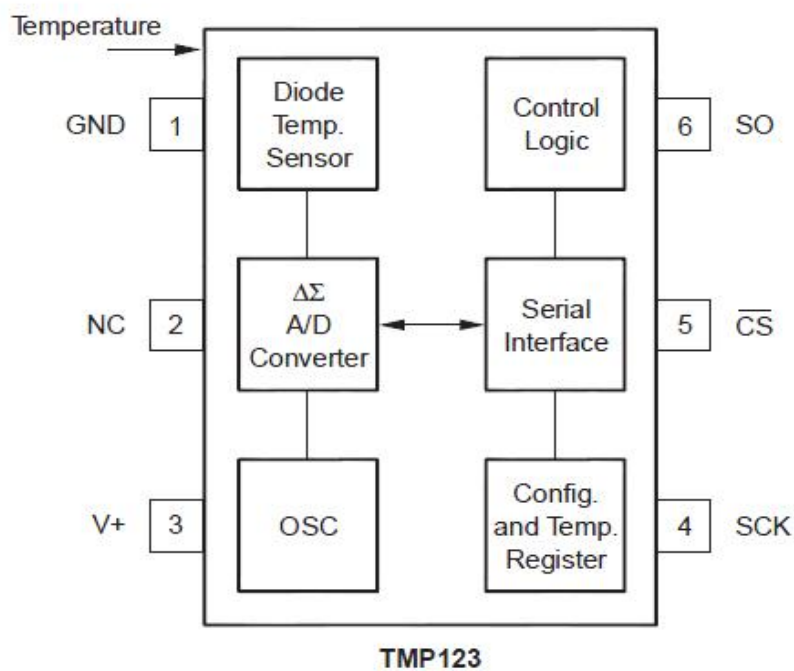


Obr. 13 Snímač teploty TMP123

Senzor TMP123 je SPI (Serial Peripheral Interface) kompatibilní teplotní senzor. TMP123 má malé SOT23-6 balení. Z tohoto důvodu je jednoduché použít v komoře více senzorů. Pracuje s velmi nízkou spotřebou maximálně  $50\ \mu\text{A}$  při napájení 3 až 5V. Nevyžaduje žádné externí komponenty a je schopný měřit teplotu s  $2^{\circ}\text{C}$  přesností v teplotním rozmezí  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $125^{\circ}\text{C}$ . Snímač je vhodný pro řízení a ochranu teploty v aplikacích. Teplota je měřena 12 bitovým převodníkem, změřená. Hodnota teploty je uložena v 16bitovém registru a lze ji přečíst přes SPI sběrnici.

Tab. 5 Základní parametry snímače TMP123

<b>Výstupní rozhraní:</b>	dvouvodičové SPI rozhraní (signály SO a SCK)
<b>Výstupy:</b>	12bitový A/D převodník sigma-delta, rychlost převodu max. 320 ms
<b>Přesnost:</b>	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ pro $-25^{\circ}\text{C}$ až $+85^{\circ}\text{C}$ $\pm 2.0$ pro $-40^{\circ}\text{C}$ až $+125^{\circ}\text{C}$
<b>Spotřeba:</b>	max. 50 $\mu\text{A}$ (max. 1 $\mu\text{A}$ v Shutdown módu)
<b>Napájení:</b>	2,7 až 5,5 V
<b>Tepelný odpor:</b>	$200^{\circ}\text{C/W}$
<b>Rozlišení:</b>	$\pm 0.0625^{\circ}\text{C}$ (12 bitů)
<b>Pouzdro:</b>	6 - vývodové SOT-23
<b>Další:</b>	Signál chipu CS (Chip Select)



Obr. 14 Blokové schéma snímače TMP123

#### 4.3.2. ADT7320, ADT7420 [11,12]

ADT7320, ADT7420 jsou 16bitové digitální senzory firmy Analog Device. Snímače je možné použít v 13bitovém a 10bitovém režimu. Primárně je použit 13bitový analogově-digitální konvertor (ADC) pro digitalizaci teploty s rozlišením  $0,0625^{\circ}\text{C}$ , v režimu 16bitovém je toto rozlišení  $0,0078^{\circ}\text{C}$ . Bezpečné provozní napájecí napětí je v rozsahu od 2,7V až 5,5V. Doporučené pracovní napájení je 3,3V napájecí proud je typicky  $210\mu\text{A}$ . Snímač má vynikající přesnost a je lineární v celém rozsahu jmenovitých teplot bez nutnosti opravy nebo kalibrace. Snímač má režim SPS (Sample Per Second, jeden vzorek za vteřinu) díky čemuž šetří výkon.



Obr. 15 Snímač teploty ADT7320

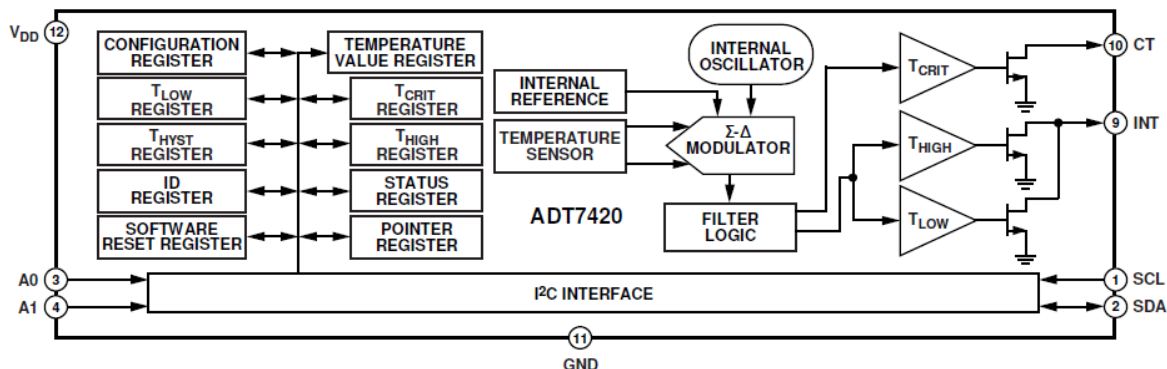
Snímač ADT7320 komunikuje prostřednictvím rozhraní SPI, které přenáší data sériově. Výstup teplotního senzoru je digitalizovaný  $\Sigma\text{-}\Delta$  převodníkem. Výstupní signál je místo analogové hodnoty napětí či proudu reprezentován v digitálním tvaru, což má své nesporné výhody. Mezi hlavní patří možnost připojení s mikrokontrolérem s využitím delších přívodních vodičů, aniž by docházelo ke znehodnocení přenášené informace vlivem rušení okolních zdrojů. Obvody nevyžadují žádnou kalibraci. Vynikají nízkou celkovou chybou měření,

Tab. 6 Základní parametry snímače ADT7320/ADT7420

<b>Přesnost</b>	$\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ (od $-20^{\circ}\text{C}$ do $+105^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (od $-10^{\circ}\text{C}$ do $+85^{\circ}\text{C}$ , 3 V)
<b>Rozhraní</b>	SPI (ADT7320) I <sup>2</sup> C (ADT7420)
<b>Provozní teplota</b>	$-40^{\circ}\text{C}$ až $+150^{\circ}\text{C}$
<b>Napájecí napětí</b>	2,7 V až 5,5 V
<b>Nízká spotřeba</b>	$700\mu\text{W}$ typ. (3,3 V)
<b>Rozlišení</b>	Uživatelsky volitelných 13 až 16 bitů
<b>Pouzdro</b>	LFCSP, 16 vývodů, RoHS-compliant

Teplotní senzor ADT7420 má stejné parametry jako ADT7320. Oproti ADT7320 (SPI) komunikuje ADT7420 přes rozhraní I<sup>2</sup>C. I<sup>2</sup>C je v určitých ohledech obdoba SPI (obsahuje jediný uzel master a existence hodinového signálu), některé vlastnosti jsou avšak odlišné a to: SPI je umožněn obousměrný přenos dat díky použití vodičů MISO, MOSI. I<sup>2</sup>C je vybavena pouze jedním datovým vodičem SDA proto data přenáší poloduplexně. Z toho vyplývá větší složitost vnitřní struktury všech připojených zařízení z důvodů

možnosti přepínání mezi příslušnými piny, díky kterým se přepíná vstupní režim na výstupní.



Obr. 16 Blokové schéma snímače ADT7320/7420

#### 4.3.3. Senzor DS18B20 [10]

Jedním z představitelů integrovaných PN senzorů teploty je produkt společnosti Dallas Semiconductor (Maxim Innovation Delivered) pod označením DS18B20. Vyznačuje se teplotním rozsahem  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$  s přesností měření  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  garantovanou v teplotním rozsahu  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . Nejčastěji používaný v pouzdře TO-92 se třemi vývody.

Tab. 7 Teplotní rozlišení snímače DS18B20

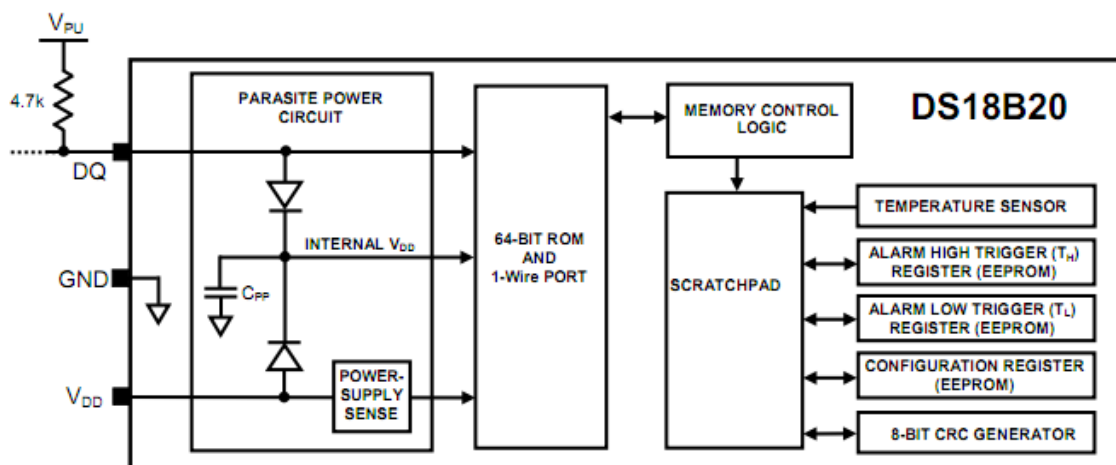
Počet výstupních bitů	Příslušné rozlišení [ $^{\circ}\text{C}$ ]
9	0,5
10	0,25
11	0,125
12	0,0625

Data jsou ze senzoru získávána pomocí jedno-vodičového seriového rozhraní (1-wire interface). Výsledek převodu teploty je uživatelsky nastavitelný na 9, 10, 11 nebo 12 bitů, čemuž odpovídá příslušné teplotní rozhraní (viz. Tab.7). Pro komunikaci se používá jeden datový a dva napájecí vodiče (GND, VDD, DQ). Napájecí napětí VDD se může pohybovat v rozmezí 3.3V až 5.5V. Mimo to lze senzor provozovat v tzv. parazitním režimu využívajícím pouze dvou vodičů.

Tab. 8 Přehled základních parametrů snímače DS18B20

<b>Přesnost</b>	0,5 $^{\circ}\text{C}$ v rozmezí $-10^{\circ}\text{C}$ do $+85^{\circ}\text{C}$
<b>Rozhraní</b>	1-wire interface
<b>Provozní teplota</b>	$-55^{\circ}\text{C}$ do $+125^{\circ}\text{C}$
<b>Napájecí napětí</b>	3,0V – 5,5V
<b>Rychlost převodu</b>	12 bitů trvá 750ms
<b>Rozlišení</b>	Uživatelsky volitelných 9 až 12 bitů
<b>Pouzdro</b>	TO-92 se třemi vývody





Obr. 17 Blokové schéma snímače DS18B20

#### 4.3.4. Použitý snímač teploty

Snímače TMP123 a ADT7320 byly použity již při řešení jiné úlohy. Snímač ADT7320 slibuje vynikající přesnost, která nebyla v praktickém provozu prokázána. Pro snímání teploty v pracovní části komory byl zvolen snímač TMP123, jehož parametry jsou o něco málo horší než u snímače ADT7320. V praxi však splnil všechna očekávání a je již v laboratořích dostupný, tudíž nebudou nutné náklady na jeho pořízení.

#### 4.4. Snímače pro měření vlhkosti v pracovní části komory

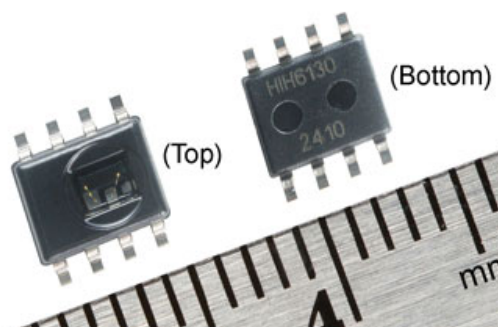
Snímač vlhkosti je další důležitá součást pro správné měření v teplotní komoře. Je velice důležité, aby byl vysoce přesný a spolehlivý. Další požadavky jsou na rychlost odezvy, stabilitu, rozměry snímače i náklady na měření.

Snímač vlhkosti by měl být vybírán podle následujících požadavků:

- přesnost alespoň  $\pm 5\%$  RH při rozsahu relativní vlhkosti 0% až 100% RH
- cena snímače a náklady na provoz
- rychlost odezvy měřicího přístroje
- schopnost pracovat při teplotě -20 až 100 °C
- malé rozměry

##### 4.4.1. Digitální snímač vlhkosti HIH6130/6131 [13]

Snímač firmy Honeywell HumidIcon kombinuje měření teploty a vlhkosti. Má vícevrstvou konstrukci, která zajišťuje odolnost proti většině nebezpečím, jako je kondenzace, prach, špína, olej a chemikálie. Snímač je také dlouhodobě stabilní a není problém měřit přes 12 hodin 75%RV. Snímač má nízkou spotřebu energie. Rozlišení snímače je 14bitů, což systému umožní rozpoznat i nejmenší relativní vlhkost nebo změnu teploty.



Obr. 18 Snímač HIH6130/6131

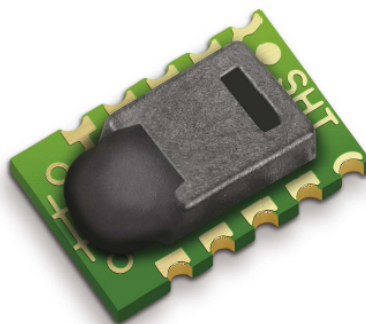
Chyba snímače je udávána pomocí Total Error Band (TEB), což je celková chyba snímače. Zahrnuje všechny možné zdroje chyb, které mohou nastat při měření vlhkosti i teploty. Celková chyba snímače TEB by neměla být zaměňována s přesností, která je součástí celkové chyby.

Tab. 9 Přehled základních parametrů snímače HIH6130/6131

<b>Výstup</b>	I <sup>2</sup> C
<b>Typ obalu</b>	SOIC-8 SMD
<b>Doba odezvy</b>	6 s v 20 l / min minimální proudění vzduchu
<b>Rozsah provozních teplot</b>	-25 ° C až 85 ° C
<b>Rozsah provozní vlhkosti</b>	0% relativní vlhkosti až 100% RH
<b>Rozlišení</b>	14 bitové
<b>Přesnost</b>	± 4% RH
<b>Napájecí napětí</b>	3,3 V

#### 4.4.2. Digitální snímač vlhkosti SHT15 [14]

SHT15 je snímač kombinující měření teploty a vlhkosti od firmy SENSIRION. Aplikovaná CMOSens technologie zaručuje vynikající spolehlivost a dlouhodobou stabilitu. Snímače jsou dokonale spojeny s 14bitovým analogově-digitálním převodníkem a sériovým obvodem. Snímače mají proto vynikající kvalitu signálu, rychlou odezvu a nejsou citlivé na vnější ručení.



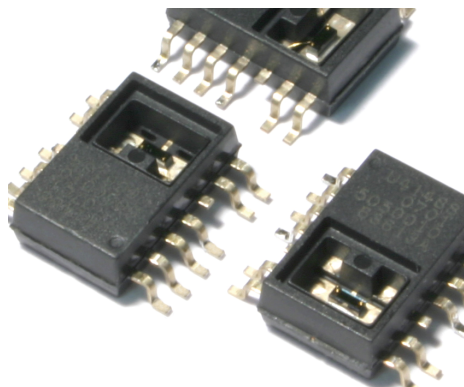
Obr. 19 Snímač vlhkosti/teploty SHT15

Komunikuje pomocí 2vodičového sériového rozhraní (2wire serial interface). Vnitřní regulace napětí umožňuje snadný a rychlý systém regulace. Snímače mají malé rozměry a nízkou spotřebu energie.

Tab. 10 Základní parametry snímače SHT15

<b>Spotřeba energie</b>	80uW (při 12bit, 3V, 1 měření / s)
<b>RH Provozní rozsah</b>	0 až 100% RV
<b>Přesnost</b>	$\pm 2.0$ %RH a zároveň $\pm 0.3$ °C
<b>Teplotní rozsah</b>	-40 Až 125 ° C (-40 až 257 ° F)
<b>RH Doba odezvy</b>	8 sec (tau63%)
<b>Výstup</b>	digitální (2wire rozhraní)

#### 4.4.3. Snímač vlhkosti T9600 [15]



Obr. 20 Snímač vlhkosti T9600

Vlhkostní snímač T9600 firmy GE nabízí přesné měření relativní vlhkosti. Tento snímač mění kapacitu v přímé úměře k okolní relativní vlhkosti. Je odolný vůči chemickým výparům a jiným nečistotám. Použití přístroje je velmi jednoduché, již je plně otestován a zkalibrován. Není proto potřeba žádná další kalibrace.

Tab. 11 Přehled základních parametrů snímače T9600

<b>RH Rozsah</b>	0 až 100% RV
<b>RV Přesnost při 25 ° C</b>	$\pm 2\%$ z 20% až 80% $\pm 3\%$ od 0% až 20% a 80% až 100%
<b>RH Rozlišení</b>	0,4% RH
<b>Provozní teplota</b>	-20 ° C až 80 ° C
<b>Přesnost teploty</b>	$\pm 0,6$ ° C při 25 ° C
<b>Napětí</b>	3 až 5,5 VDC
<b>Spotřeba proudu</b>	500 Mikroampéry při 5 V DC, 25 ° C
<b>RH - digitální výstup</b>	Manchester 8bitové kódování
<b>Teplota - digitální výstup</b>	Manchester 10bitové kódování

#### 4.4.4. Použitý snímač vlhkosti

V komoře bude použit snímač HIH6130/6131, který byl zvolen na základě jeho dobrých parametrů. Jeho velkou výhodou je dostupnost u osvědčené dodavatelské firmy, což u ostatních snímačů není zaručené.

## 5. CHLADIČE

Výkonově namáhané součástky produkují velké množství tepla. Stejně to je i u Peltierových článků, které na tomto principu fungují. Je proto potřeba navrhnout chladič, který uchládí Peltierův článek. Ten má velmi vysoký výkon 238,6 W. Je tedy nutné, aby byl výkonný i chladič. Nabízí se levná varianta pasivního chladiče, který svým výkonem nesplňuje požadavky. Další variantou je aktivní chlazení. Aktivní chladiče pro chlazení procesorů splňují požadavky pro návrh komory. Jejich nevýhodou je však velikost a váha. Tepelný odpor chladiče je definován pomocí odváděného výkonu a rozdílu teplot.

$$R_{\vartheta} = \frac{\vartheta_a - \vartheta_m}{P} = \frac{\Delta\vartheta}{P} \quad [\text{K/W}] \quad (9)$$

kde:

$\vartheta_a$	teplota okolí	[K (°C)]
$\vartheta_m$	teplota tělesa	[K (°C)]
P	odváděný výkon	[W]
$R_{\vartheta}$	tepelný odpor	[K/W (°C/W)]

Při dodání energie A do tělesa o hmotnosti m, z látky s teplem c, vzroste jeho teplota o  $\Delta\vartheta$ . Rychlost změny při dodávaném výkonu P pak bude:

$$\frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = P \cdot c \cdot m \quad (10)$$

kde:

c	měrná energie látky	[J/kg]
m	hmotnost tělesa	[kg]

Součin c.m se nazývá tepelná kapacita tělesa [16].

### 5.1. Gelid Solution - Tranquillo rev.2 [17]



Obr. 21 Chladič Tranquillo rev.2

Chladič Tranquillo rev.2 firmy Gelid Solution je chladič s dobrým poměrem cena/výkon. Používá 4 heatpipe trubice pro odvod tepla do hliníkových žebra. Velmi podstatnou výhodou tohoto chladiče je, že umožňuje nastavení orientace po 90°. Pasivní část má rozměry 74 × 125 × 153 mm. Na chladič lze nainstalovat jeden ventilátor s průměrem 120 mm a PWM regulací otáček.

*Tab. 12 Parametry chladiče Tranquillo rev.2*

<b>Rozměry</b>	125 x 74 x 153 mm
<b>Hmotnost</b>	645 g
<b>Materiál</b>	4x duální 6mm heatpipe, hliníková žebra, měděná základna
<b>Ventilátor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 120 mm</li> <li>• 750 - 1500 RPM (PWM regulace)</li> <li>• 58 CFM (max.)</li> <li>• 1,6 mm vodního sloupce (max.)</li> <li>• 12 - 25,5 dBA</li> <li>• 50 000 hodin MTBF</li> <li>• Hydro Dynamic Bearing (ložiska)</li> </ul>
<b>Kompatibilita</b>	dovoluje otáčet po 90°

## 5.2. Cooler Master - Hyper 212 Plus [18]



*Obr. 22 Chladič Hyper 212 Plus*

Chladič Hyber 212 plus poskytuje vyvážený výkon s ohledem na chlazení a tichý provoz. Chladič má klasickou věžovitou konstrukci, jakou procesorové chladiče. Ze základny zde vychází na každou stranu čtyři heatpipe trubice, takže efektivně jich tu je celkem osm.

Nahoře se rozchází, aby se co nejlépe vystavovaly proudy vzduchu, a napojují se na desítky hliníkových žebířů.

*Tab. 13 Parametry chladiče Hyper 212 Plus*

<b>Rozměry</b>	120 x 79,7 x 158,5 mm
<b>Hmotnost</b>	626 g
<b>Materiál</b>	hliník, heatpipe
<b>Ventilátor</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 120 x 120 x 25 mm</li><li>• 600 - 2000 RPM (PWM)</li><li>• 21,2 - 76,8 CFM</li><li>• kluzná ložiska</li></ul>
<b>Hlučnost</b>	13 - 32 dBA

Ventilátor je vybavený regulací otáček pomocí PWM v rozmezí 600 - 2000 RPM s průtokem vzduchu 21,2 - 76,8 CFM a hlučností 13 - 32 dBA. Tvar lopatek má pochopitelně za úkol zvýšit průtok vzduchu a popřípadě také zvýšit statický tlak (udávaný je 0,40 - 3,9 mm H<sub>2</sub>O).

### 5.3. Použitý chladič

Pro aktivní chlazení Peltierových článků je vybrán chladič Cooler Master Hyper 212 Plus. Byl zvolen pro svůj větší výkon, pro dobrý poměr cena/výkon a pro lepší zkušenosti uživatelů.

## 6. VENTILÁTORY

Pro návrh teplotní komory je zapotřebí zvolit vhodné ventilátory. Budou potřeba dva druhy ventilátorů. První pro nucený oběh vzduchu v komoře a druhé pro aktivní chlazení Peltierových článků. Ventilátory pro aktivní chlazení však budou součástí chladiče. Ventilátory pro nucený oběh vzduchu v komoře musí splňovat požadavky pro návrh komory a pracovat v provozní teplotě  $-20$  až  $+100^{\circ}\text{C}$ . Při hledání vhodných ventilátorů však nastal problém, že ventilátory s těmito požadavky jsou pouze velké průmyslové a pro naše potřeby nevyhovující. Jednou z variant řešení jsou ventilátory firmy Telemeter:

**Hi-Rel a Mil ventilátory (DC a AC)** pro extrémní aplikace s vysokou spolehlivostí.

**Základní parametry Hi-Rel a Mil ventilátorů:**

- Dle norem MIL a/nebo RTCA DO160
- Modely pro 115 V / 400 Hz s velkým průtokem vzduchu
- Modely pro 12, 28 a 48 V DC (bezkartáčkové provedení)
- Provozní teplota  $-40$  až  $+85^{\circ}\text{C}$
- Volitelně i s 5V kontrolním výstupem
- Životnost (MTBF) dle normy MIL-STD-690B / 781C
- Až 100000 hodin provozu
- Spolehlivé a osvědčené ventilátory používané např. firmou AIRBUS nebo ve vojenských aplikacích [19]



*Obr. 23 Ventilátory Hi-Rel*

Další variantou řešení je počkat, zda v době realizace teplotní komory budou na trhu malé, spolehlivé a odolné ventilátory.

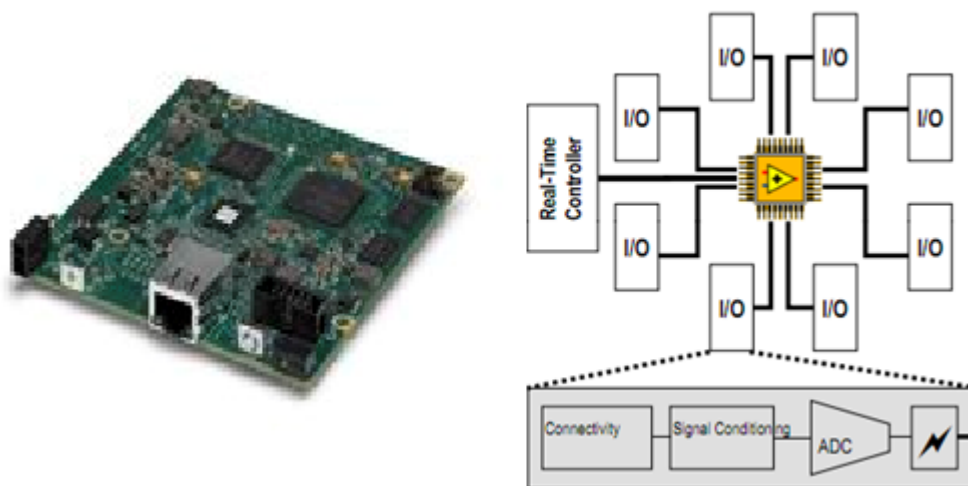


## 7. NI RIO-9605 [20]

Systém CompactRIO komunikuje do a zpět z externích zařízení, jako jsou čidla a akční členy, proto bude použit pro řízení navrhované tepelné komory. Software LabVIEW umožňuje tedy vhodným programovacím nástrojem pro CompactRIO.

Vhodným programovacím nástrojem pro CompactRIO je software LabVIEW, který umožňuje vývoj aplikací pro kontrolu průmyslových zařízení, získávání dat a tvorbu uživatelsky příjemných rozhraní pro jejich ovládání v jednom vývojovém prostředí.

CompactRIO je rekonfigurovatelného I/O (vstupně/výstupních) zařízení, které kombinuje otevřenou architekturu s malými rozměry, extrémní odolností a širokou rozmanitostí analogových, digitálních, pohybových a komunikačních I/O modulů. To pomáhá při vkládání vlastních kontrolních a monitorovacích systémů. Je to rychlejší, za nižší cenu a bez nutnosti velkých týmů návrhových inženýrů.



Obr. 24 Blokové schéma Rio-9605

RIO-9065 je ideální pro vestavěné řídicí a monitorovací aplikace v průmyslu, jako je energetika a robotika, které vyžadují krátkou dobu pro uvedení na trh. Kombinace hardwaru NI RIO a grafického softwaru LabVIEW poskytuje snadno rekonfigurovatelný vestavěný systém.

Je vybaven 400 MHz procesorem, průmyslovým Xilinx Spartan-6 LX25 FPGA, a RIO Mezzanine Card konektorem, který umožňuje přímý přístup k procesoru a 96ti 3,3 V, digitálním I/O FPGA linkám. SbRIO-9605 nabízí rozsah provozních teplot -40 až 70° C spolu s 9 až 30 VDC napájením elektrického vstupního rozsahu. Poskytuje 128 MB DRAM pro provoz a 256 MB trvalé paměti pro ukládání programů.

Tento přístroj je vybaven vestavěným 10/100 Mbit / s Ethernetovým portem, pomocí kterého můžete provést programovou komunikaci po síti. Může být použit sériový port RS232 pro ovládání periferních zařízení. SbRIO-9605 je navržen tak, aby se snadno používal ve velkoobjemových aplikacích, které vyžadují flexibilitu, spolehlivost a vysoký výkon.



## 8. ZÁVĚR

Pro návrh teplotní komory bylo nutné seznámit se s vlastnostmi akčních členů, kterými byly zvoleny Peltierovy články. Námi zvolené články byly PC-200-14-06 od firmy Supercool. Články byly zvoleny, protože jako jedny z mála nabízí vysoký výkon.

V této práci byly také formulovány požadavky pro návrh senzoriky a řízení teplotní komory. Pro správnou funkci komory se musely navrhnout 4 druhy snímačů. Snímač teploty okolí, snímač teploty v pracovní části komory, snímač vlhkosti v pracovní části komory a snímač pro řízení Peltierova článku.

Snímač pro řízení teploty v pracovní části byl zvolen TMP123 společnosti Texas Instruments. Snímač je totiž na rozdíl od ADT7320 spolehlivý. Pro řízení vlhkosti v pracovní části komory byl zvolen snímač HIH6130 firmy Honeywell HumidIcon, který kombinuje měření vlhkosti a teploty. Pro snímání teploty z Peltierových článků byl zvolen tenkovrstvý odporový snímač teploty PT1000 od firmy Minco. Snímač nám byl doporučen dodavatelem odporových snímačů pro jeho vyšší rozlišení a dobrou spolehlivost.

Dále byl zvolen vhodný chladič Hyper 212 Plus. Byl vybrán díky dobrému poměru cena/výkon. Jako posledním voleným prvkem byl řídicí systém NI sbRIO-9065, který jsme zvolili pro snadnou konfiguraci díky programu LabVIEW.

Do dalších let se počítá se spoluprací s ústavem termomechaniky. Také by měla proběhnout kompletní realizace komory.

## SEZNAM LITERATURY

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty - senzory a měřící obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [2] Encyklopedie fyziky. REICHL, Jaroslav. [online]. 2010-02-01 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>
- [3] HW server. DŘÍNEK, Ing.Milan. [online]. 23. Prosinec 1999. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART650-Peltierovy-termobaterie-2.html>
- [4] Supercool, [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.peltiery.cz/scripts/index.-php?id\\_nad=66](http://www.peltiery.cz/scripts/index.-php?id_nad=66)
- [5] Měření teploty - kovové odporové senzory teploty: HW server. ŠPRINGL, Vít. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [6] Edumat. KOHOUT, Ing. Luděk. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>
- [7] PT1000: Minco [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.minco.com/products/sensors.aspx?id=38&terms=Thin-film+elements&fragment=&SearchType=&terms=Thin-film%20elements>
- [8] PT100: Heraeus [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://heraeus-sensor-technology.com/media/webmedia\\_local/media/pdfsen/hstproduktbroschuere.pdf](http://heraeus-sensor-technology.com/media/webmedia_local/media/pdfsen/hstproduktbroschuere.pdf)
- [9] TMP123: Texas Instruments [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp121.pdf>
- [10] DS18B20: Maxim [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [11] ADT7420: Analog Devices [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADT7420.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADT7420.pdf)
- [12] ADT7320: Analog Devices [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADT7320.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADT7320.pdf)
- [13] HIH6130/6131: Honeywell HumidIcon [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://sensing.honeywell.com/hih6130\\_6131%20ps\\_009059-3-en\\_final\\_24oct11.pdf](http://sensing.honeywell.com/hih6130_6131%20ps_009059-3-en_final_24oct11.pdf)
- [14] SHT15: Sensirion [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.sensirion.com/en/pdf/product\\_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf)
- [15] T9600: GE Measurement & Control [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.sensirion.com/en/pdf/product\\_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf)
- [16] Výpočty chlazení: SOU technickém Chotěboř [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>

- [17] Tranquillo - revize 2: GELID Solution [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.gelidsolutions.com/products/index.php?lid=2&cid=12&id=64>
- [18] Hyper 212 Plus: Cooler Master [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.coolermaster.com/product.php?product\\_id=6603](http://www.coolermaster.com/product.php?product_id=6603)
- [19] Hi-Rel, MIL ventilátory: Telemeter Electronic [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.telemeter.info/documents/kvalitn%C3%AD\\_prumyslov%C3%A9\\_ve\\_ventil%C3%A1tory.pdf](http://www.telemeter.info/documents/kvalitn%C3%AD_prumyslov%C3%A9_ve_ventil%C3%A1tory.pdf)
- [20] NI sbRIO-9605: National Instruments [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/210002>